

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan evaluasi kinerja model yang telah dipaparkan pada Bab IV, dapat disimpulkan bahwa arsitektur *Vision Transformer* (ViT) dan *Swin Transformer* mampu melakukan klasifikasi multi-label penyakit paru pada citra X-ray dada secara efektif. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik *Area Under the Curve – Receiver Operating Characteristic* (AUC-ROC) pada 12 label penyakit paru sebagai gambaran kuantitatif terhadap kemampuan diskriminasi masing-masing model.

Pada skenario *baseline*, model *Vision Transformer* menunjukkan kinerja awal yang cukup baik, dengan nilai AUC sebesar 0,74 pada *Pneumonia*, 0,84 pada *Edema*, dan 0,88 pada *Pleural Effusion*. Namun, performa relatif rendah terlihat pada label dengan pola visual kompleks seperti *Enlarged Cardiomedastinum* (AUC = 0,66) dan *Atelectasis* (AUC = 0,69). Sementara itu, *Swin Transformer baseline* secara konsisten menunjukkan performa yang lebih stabil dibandingkan ViT *baseline*, terutama pada label *Pneumonia* (AUC = 0,75), *Lung Lesion* (AUC = 0,78), dan *Pleural Other* (AUC = 0,80). Hal ini mengindikasikan keunggulan mekanisme *window-based attention* dalam menangkap fitur lokal.

Setelah diterapkan *fine-tuning*, peningkatan kinerja model terlihat pada label-label tertentu yang memiliki tingkat kesulitan tinggi. Pada model *Vision Transformer*, *fine-tuning* berhasil meningkatkan skor AUC pada label *Enlarged Cardiomedastinum* dari 0,66 menjadi 0,67, meskipun pada label utama seperti *Pneumonia* model cenderung mempertahankan stabilitas performa pada nilai 0,74. Hal ini menunjukkan bahwa *fine-tuning* memberikan kontribusi dalam penyesuaian parameter pada fitur visual yang lebih halus.

Peningkatan performa yang paling menonjol diperoleh pada *Swin Transformer* hasil *fine-tuning*, yang menunjukkan kinerja terbaik secara keseluruhan dalam penelitian ini. Model ini mampu meningkatkan nilai AUC pada label *Fracture* menjadi 0,76. Selain itu, *Swin Transformer fine-tuning* menunjukkan

stabilitas tinggi pada label dengan fitur lokal kuat seperti Pneumothorax (AUC = 0,87) dan Pleural Effusion (AUC = 0,88), serta tetap unggul pada label Pneumonia (AUC = 0,75) dibandingkan arsitektur ViT.

Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa arsitektur Swin Transformer merupakan model yang paling konsisten dan unggul dalam skenario klasifikasi multi-label citra X-ray paru, baik pada kondisi *baseline* maupun setelah *fine-tuning*. Meskipun dampak *fine-tuning* pada dataset ini bersifat marginal pada beberapa label, tujuan penelitian untuk mengevaluasi pengaruh *fine-tuning* serta membandingkan performa kedua arsitektur telah tercapai dan dibuktikan secara empiris melalui nilai AUC per label penyakit.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, beberapa saran dapat diajukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Pertama, meskipun performa model sudah menunjukkan hasil yang baik, label dengan nilai AUC relatif rendah seperti Enlarged Cardiomediastinum dan Atelectasis masih memerlukan perhatian khusus. Penelitian lanjutan disarankan untuk menerapkan strategi penanganan ketidakseimbangan kelas, seperti *weighted loss* atau *focal loss*, guna meningkatkan performa pada label-label tersebut.

Kedua, penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi pendekatan penanganan label tidak pasti (*uncertain label*) yang lebih adaptif dibandingkan kebijakan *uncertain-as-negative*, sehingga informasi klinis yang ambigu tetap dapat dimanfaatkan secara optimal dalam proses pelatihan model.

Ketiga, aspek interpretabilitas model perlu diperluas hingga tahap *fine-tuning*, misalnya dengan menerapkan Grad-CAM atau metode *explainable AI* lainnya pada model hasil *fine-tuning*, agar peningkatan kinerja model juga dapat dianalisis dari sisi perubahan fokus perhatian visual.

Terakhir, penelitian mendatang dapat mengintegrasikan dataset lintas institusi atau data klinis tambahan untuk meningkatkan generalisasi model dan mendukung penerapan sistem deteksi pneumonia berbasis transformer dalam lingkungan klinis nyata.